



(19)

(11) Publication number:

**04**

Generated Document.

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**(21) Application number: **02254795**(51) Intl. Cl.: **G01B 11/16 G01B 11/00**(22) Application date: **25.09.90**

(30) Priority:	(71) Applicant: <b>HAMAMATSU PHOTON RIKAGAKU KENKYUS</b>
(43) Date of application publication: <b>06.05.92</b>	(72) Inventor: <b>TAKEMORI TAMIKI YAMAGUCHI ICHIRO</b>
(84) Designated contracting states:	(74) Representative:

**(54) DEFORMATION  
MEASURING DEVICE**

(57) Abstract:

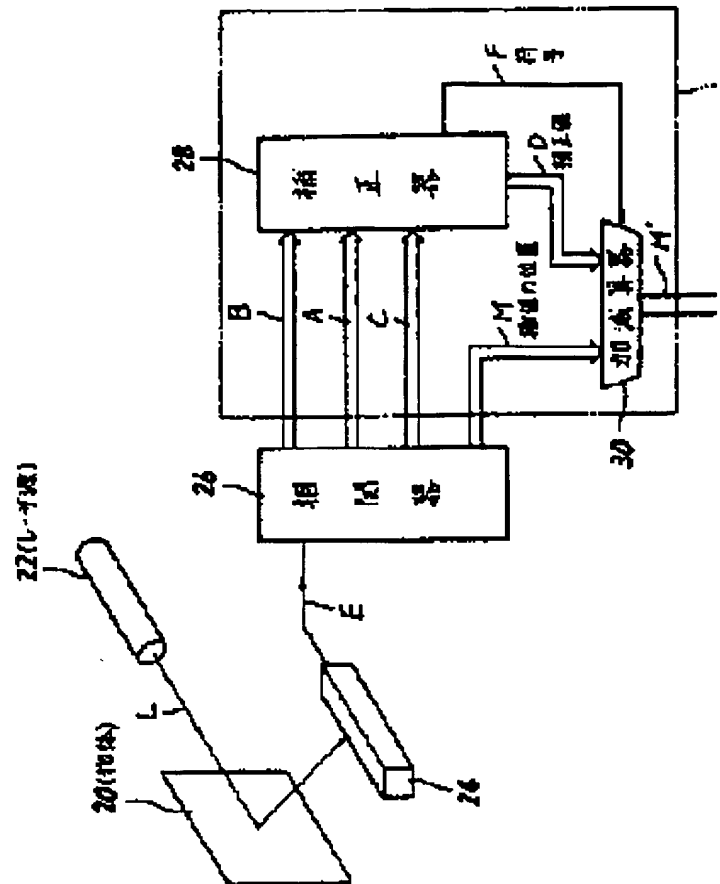
PURPOSE: To highly precisely measure the deformation of a material at high speed by highly precisely realizing the correction of the extreme value position of a cross-correlation function by correlating calculation at high speed.

CONSTITUTION: The surface of a material 20 is irradiated with a laser beam L before and after deformation of the material 20, a speckle pattern contained in the reflected light is received by a one-dimensional image sensor 24, and its electric signal E is outputted to a correlator 26 every frame. In the correlator 26, a cross-correlation function represented by histogram is determined. The extreme value A of the cross-correlation function and two correlation values B, C around it are outputted to a corrector 28. In the corrector 28, a correction value D is calculated by using the inputted extreme value A

**Best Available Copy**

and correlation values B, C, and the correction value D is outputted to an adder-subtractor 30. In the adder-subtractor 30, addition or subtraction is conducted between the correction value D inputted from the corrector 28 and the extreme value position M inputted from the correlator 26, and its calculated value consisting of an integer part M' and a decimal part D is outputted as the corrected position M' of the extreme value.

COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio



## ⑫ 公開特許公報(A)

平4-131705

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>G 01 B 11/16  
11/00

識別記号

G  
G  
F

庁内整理番号

7625-2F  
7625-2F  
7625-2F

⑭ 公開 平成4年(1992)5月6日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全8頁)

⑮ 発明の名称 変形測定装置

⑯ 特 願 平2-254795

⑰ 出 願 平2(1990)9月25日

⑱ 発 明 者 竹 森 民 樹 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会  
社内  
⑱ 発 明 者 山 口 一 郎 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内  
⑲ 出 願 人 浜松ホトニクス株式会 静岡県浜松市市野町1126番地の1  
社  
⑲ 出 願 人 理 化 学 研 究 所 埼玉県和光市広沢2番1号  
⑲ 代 理 人 弁 理 士 高 矢 論 外2名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

変形測定装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) 変形前後の物体表面の一部をレーザビームで照射してスパツクル模様を現出し、該変形前後のスパツクル模様をそれぞれ光電変換素子列で光電変換して得られる信号間の相互相関関数を求め、該相互相関関数の極値の位置として求められるスパツクル模様の移動量から物体の変形量を決定する変形測定装置において、

極値の位置と該極値及びその周辺の相関値とを出力する相関手段と、

複数の上記相関値を入力し、極値の位置の補正値を出力する補正手段と、

極値の位置と上記補正値とを合成し、補正された極値の位置を出力する合成手段とを備えていることを特徴とする変形測定装置。

(2) 変形前後の物体表面の一部をレーザビームで照射してスパツクル模様を現出し、該変形前後

のスパツクル模様をそれぞれ光電変換素子列で光電変換して得られる信号間の相互相関関数を求め、該相互相関関数の極値の位置として求められるスパツクル模様の移動量から物体の変形量を決定する変形測定装置において、

極値の位置と該極値及びその周辺の相関値とを出力する相関手段と、

相関値と適値との差をとり、その差分値を出力する減算手段と、

上記差分値を入力し、極値の位置の補正値を出力する補正手段と、

極値の位置と上記補正値とを合成し、補正された極値の位置を出力する合成手段とを備えていることを特徴とする変形測定装置。

## 3. 発明の詳細な説明

【産業上の利用分野】

本発明は、変形測定装置に係り、特に、変形前後の物体表面の一部をレーザビームで照射してスパツクル模様を現出し、該変形前後のスパツクル模様をそれぞれ光電変換素子列で光電変換して得

られる信号間の相互相関関数を求め、該相互相関関数の極値の位置として求められるスペツクル模様の変形量から物体の変形量を決定する変形測定装置の改良に関するものである。

#### 【従来の技術】

レーザビームを粗面に当てた時、拡散光の干渉によつて生ずるスペツクル模様は、物体表面に変位や変形が起きると、徐々に変形しながら移動する。そこで、反射光に含まれるスペツクル模様を光電的に走査し、得られる電気信号をマイクロコンピュータ、相関計に入力し、その相関関数の極値の位置の移動量からスペツクル移動を求め、このスペツクル移動と物体表面の変位や変形との関係を利用して、物体の並進、回転、歪み等による微小な変形を測定する、いわゆるスペツクル相関法が提案されている（特公昭59-52963）。

このスペツクル相関法に適用可能な装置としては、例えば第6図にその概略を示す如く、一次元イメージセンサとマイクロコンピュータを備えたものを挙げることができる。

いて、リアルタイムでスペツクルの移動量を検出する装置も本発明者により開発されている（オプトロニクスVol. 7, No. 9 (1988) 120-125）。

又、光電変換素子の出力をマイクロコンピュータに取り込み、そのフレームデータの異なつたフレーム間の相互相関関数をこのマイクロコンピュータにより計算し、得られた相互相関関数の極値とその周辺の値2点を放物曲線にあてはめてその頂点位置を求めることより極値の位置を補正し、その分解能を向上させる技術が本発明者により開発されている（Optics and Lasers in Engineering 11 (1989) 223-232）。

#### 【発明が解決しようとする課題】

前記専用相関器を備えた装置は、相関計算の高速化が達成され、相互相関関数の極値とその位置をリアルタイムで出力することができるが、該極値の正確な位置をリアルタイムで補正する方法が無いので、物体変形の測定における最小分解能は光電変換素子の配列ピッチにより決定され、該ピ

この装置においては、物体10上の測定点を、レーザ源12で発生した、直径1mm程度のレーザビーム13で、必要に応じて拡大レンズ14を介して照射し、その拡散反射光の中に一次元イメージセンサ15を配置しておく。その際、ビーム径 $w$ とセンサ距離 $L_0$ を調節して、およそ $\lambda L_0 / w$ （ $\lambda$ はレーザビームの波長）で与えられるセンサ15上でのスペツクルの平均径を、そのピッチ（10～20 $\mu$ m）より大きくとつておく。又、一次元イメージセンサ15の軸は、光学系と物体変位の種類（平行移動、回転、歪みの方向）で決まるスペツクル移動の方向に合致させておく。

一次元イメージセンサ15の出力をA/D変換してマイクロコンピュータ16に入れ、相関器18で物体の変形前後の出力の間の相互相関関数を計算すると、そのピーク位置としてスペツクル移動が求められる。

上述のスペツクル相関法では、相関計算と頂点位置の特定に時間を要するため、それを改善すべく、極値とその位置を出力する専用相関器を用

ツチ以下の分解能で、しかもリアルタイムで、上記極値の正確な位置、即ち、物体の変形を計測することは不可能であつた。

又、上記のように、光電変換素子の出力をマイクロコンピュータに取り込み、そのフレームデータの異なつたフレーム間の相関計算及び補正計算をソフトウェアにより実行する場合は、その計算時間として数秒を要し、そのため、この計算時間中は光電変換素子からの出力を取込むことが出来ず、計算終了後に始めて次のフレームデータを取込むことが出来るにすぎなかつた。そのため、前記のような分解能を向上する技術は、動きの遅い物体の変形の測定にしか適用できなかつた。

本発明は、前記従来の問題点を解消するべくなされたもので、相関計算による相互相関関数の極値の位置の補正を高速且つ高精度で実現することにより、その一応用であるスペツクル相関法におけるスペツクル移動量を高速且つ高精度で求め、その結果、物体の変形を高速且つ高精度で測定することができる変形測定装置を提供することを課

題とする。

【課題を達成するための手段】

本発明は、変形前後の物体表面の一部をレーザビームで照射してスパツクル模様を現出し、該変形前後のスパツクル模様をそれぞれ光電変換素子列で光電変換して得られる信号間の相互相関関数を求め、該相互相関関数の極値の位置として求められるスパツクル模様の移動量から物体の変形量を決定する変形測定装置において、極値の位置と該極値及びその周辺の相関値とを出力する相関手段と、複数の上記相関値を入力し、極値の位置の補正値を出力する補正手段と、極値の位置と上記補正値とを合成し、補正された極値の位置を出力する合成手段とを備えることにより、前記課題を達成したものである。

本発明は又、前記変形測定装置において、極値の位置と該極値及びその周辺の相関値とを出力する相関手段と、相関値と適値との差をとり、その差分値を出力する減算手段と、上記差分値を入力し、極値の位置の補正値を出力する補正手段と、

極値の位置と上記補正値とを合成し、補正された極値の位置を出力する合成手段とを備えることにより、前記課題を達成したものである。

【作用及び効果】

第6図に示す如く、物体10の測定領域0を、レーザ源12からのレーザビーム13で必要に応じて拡大レンズ14を介して照射し、得られるスパツクル模様を観察面30で観察する場合を考える。

ここで、物体面上の座標軸を $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、レーザビーム13の発散点の距離 $OS = Ls$ 、発散点の方向を $l_{sx}$ 、 $l_{sy}$ 、 $l_{sz}$ 、物体面と観察面30の距離を $L_0$ 、観察点Pの方向を $l_x$ 、 $l_y$ 、 $l_z$ 、レーザビーム13で照射した領域における物体10の並進、回転、歪みの成分をそれぞれ $(a_x, a_y, a_z)$ 、 $(\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)$ 、 $(\epsilon_{xx}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{yy})$ とする。

この条件下で、物体10が変形を受ける前状態における観察点Pでのスパツクル模様の強度分布 $I_1(x, y)$ と $I_2(x, y)$ の間の相互相関関

数 $C(\bar{x}, \bar{y})$ を計算する。

$$C(\bar{x}, \bar{y}) = \langle I_1(x, y) \times I_2(x + \bar{x}, y + \bar{y}) \rangle \quad (1)$$

ここで、 $\langle \rangle$ は集合平均を意味する。

この(1)式を計算すると、 $C(\bar{x}, \bar{y})$ が、 $\bar{x} = Ax$ 、 $\bar{y} = Ay$ で最大値をとることがわかる。ここで $Ax$ 、 $Ay$ は、次式で与えられ、物理的には物体変形によるスパツクル模様の移動量に相当する。

$$\begin{aligned} Ax = & -ax \left[ (L_0 / Ls) (l_{sx}^2 - 1) \right. \\ & \left. + l_{sx}^2 - 1 \right] \\ & -ay \left[ (L_0 / Ls) l_{sx} l_{sy} + l_{sx} l_{sy} \right] \\ & -az \left[ (L_0 / Ls) l_{sx} l_{sz} + l_{sx} l_{sz} \right] \\ & -L_0 \left[ -\Omega_z (l_{sy} + l_y) \right. \\ & \left. -\Omega_y (l_{sz} + l_z) + \epsilon_{xx} (l_{sx} + l_x) \right. \\ & \left. + \epsilon_{xy} (l_{sy} + l_y) \right] \quad \dots \dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ay = & -ax \left[ (L_0 / Ls) (l_{sy} l_{sx} \right. \\ & \left. + l_{sy} l_{sx} \right] \\ & -ay \left[ (L_0 / Ls) (l_{sy}^2 - 1) \right. \\ & \left. + l_{sy}^2 - 1 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -az \left[ (L_0 / Ls) l_{sy} l_{sz} + l_{sy} l_{sz} \right] \\ & -L_0 \left[ -\Omega_z (l_{sx} + l_x) \right. \\ & \left. -\Omega_x (l_{sz} + l_z) + \epsilon_{yy} (l_{sy} + l_y) \right. \\ & \left. + \epsilon_{xy} (l_{sx} + l_x) \right] \quad \dots \dots (3) \end{aligned}$$

従つて、前記観察面30に一次元イメージセンサ(光電変換素子列)を配置してスパツクルの移動量 $Ax$ 、 $Ay$ を観測すれば、該一次元イメージセンサの出力波形は、物体変位前後で第7図(A)に示す如く変化し、その自己相関波形は、第7図(B)に示す如くとなり、相互相関波形は第7図(C)に示す如くとなる。

このような装置において、第1発明は、それぞれ専用の前記機能を有する相関手段、補正手段及び合成手段を設けることにより、補正手段において、相関手段から入力された相互相関関数の極値及びその周辺の相関値を用いて該極値の位置の補正値を求め、合成手段において、相関手段から入力された極値の位置と上記補正手段から入力された補正値とを合成し、補正した極値の位置(補正位置)を求めることにより、相関計算による相互

相関関数の極値の位置の補正を高速且つ高精度で実現することが可能となり、その一応用であるスベツクル相関法におけるスベツクル移動量を高速且つ高精度で求めることが可能となる。その結果、物体の変形を高速且つ高精度で測定することが可能となる。

又、第2発明は、相関手段と補正手段との間に、前記機能を有する減算手段を介設することにより、減算結果である差分値を補正手段に入力し、同様に極値の位置の補正値を求めることが可能となるため、補正手段に対する入力情報量を低減した上で、なお且つ前記第1発明と同様に物体の変形を高速且つ高精度で測定することが可能である。

#### 【実施例】

以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

第1図は、本発明による第1実施例の変形測定装置を、その作用と共に示す概略構成図、第2図は、実際のスベツクルパターン（模様）により得られた相互相関関数の相関値をヒストグラムで表

サ24で受光し、その電気信号Eをフレーム毎に順次前記相関器26に出力する。

上記電気信号Eを入力した相関器26では、毎フレーム時刻毎に、光電変換素子列の配列ピッチPを単位幅とする第2図に示すようなヒストグラムで表わされる相互相関関数を求める。そして、上記ヒストグラムで表わされる相互相関関数の極値A及びその周辺の2つの相関値B、Cと、上記ピッチPを最小分解能とする極値の位置Mとを前記補正器28へ出力する。

上記補正器28は、入力された極値A、相関値B、Cを用い、例えば、放物線の頂点位置、重心位置又は直線の交点を求める等の計算手法により、極値の位置に対する補正量として小数点以下の補正値Dを算出し、該補正値Dを、演算符号Fと共に前記加減算器30へ出力する。

上記加減算器30は、上記補正器28から入力される補正値D及び前記相関器26から入力される極値の位置Mの間で演算符号Fに基づく加算又は減算を行い、整数部(M)と小数部(D)とか

わした線図である。

本実施例の変形測定装置は、物体20の表面にレーザ光を、必要に応じて拡大レンズ（図示せず）を介して照射するためのレーザ源22と、該物体20の表面で反射した反射光を受光する一次元イメージセンサ（光電変換素子列）26と、該一次元イメージセンサから入力される電気信号に基づいて相互相関関数を求め、その相関値等を入力する相関器（相関手段）26と、該相関器26から入力される極値を含む上記相関値に基づいて極値の位置の補正値を求め、該補正値等を入力する補正器（補正手段）28と、上記相関器26から入力される極値の位置と上記補正器28から入力される上記補正値及び演算符号とから該極値の位置の補正値を求め、該出力を補正する加減算器（合成手段）30とを備えている。

本実施例の変形測定装置においては、物体20の変形の前後にわたって該物体20の表面にレーザ光Lを照射し、その表面からの反射光に含まれるスベツクルパターンを前記一次元イメージセン

サ24で受光し、その電気信号Eをフレーム毎に順次前記相関器26に出力する。

上記電気信号Eを入力した相関器26では、毎フレーム時刻毎に、光電変換素子列の配列ピッチPを単位幅とする第2図に示すようなヒストグラムで表わされる相互相関関数を求める。そして、上記ヒストグラムで表わされる相互相関関数の極値A及びその周辺の2つの相関値B、Cと、上記ピッチPを最小分解能とする極値の位置Mとを前記補正器28へ出力する。

上述した本実施例の変形測定装置によれば、前記のような相関器26、補正器28及び加減算器30からなる極値の位置の補正機能を有しているため、光電変換素子列の配列ピッチPの間隔で表わされる極値の位置Mを高速且つ高精度で補正し、その補正位置M'を求めることが可能となるため、スベツクル移動量を高速且つ高精度で求めることができ、その結果物体20の変形を高速且つ高精度で測定することができる。従つて、最小分解能が光電変換素子のピッチによつて決定されていた従来の相関計算による極値の位置の補正を、リアルタイムで高精度に実現することができる。

本実施例における前記補正器28は、デジタル信号処理プロセッサ又は予め計算結果を格納したROMを使用して形成することができる。ROMを使用する場合は、予め実験的に求めた相関値と補間データを格納しておくことにより、補正計算で取りきれない誤差を無くし、更に高精度の補

正をすることもできる。

又、第1図で二点鎖線で囲んだ部分32は、1フレーム時間に演算可能な高速で動作するマイクロプロセッサ又はデジタル信号処理プロセッサとそのソフトウェアで代用することもできる。その場合、例えばRISC形の32ビットプロセッサ等が使用できる。

又上記部分32は、第3図に示すように安価な8ビットマイクロプロセッサ(CPU)34と、補正計算結果を予め書込んでおいたROM36によるソフトウェアによつて実行することも可能である。即ち、相関値A(極値)、B、Cが、それぞれ入力ポート38A、38B、38Cに入力されると、CPU34は、上記相関値A、B、Cに基づいて相関結果が書込んであるROM36より補正値を読出し、入力ポート38Eに入力された極値の位置Mと加減算を実行し、極値の補正位置M'を出力ポート38Fより出力する。

次に、本実施例の変形測定装置を物体変形の測定に実際に適用した結果を第4図に示す。なお、

ある。

本実施例の作用を、減算に使用する適値として極値Aを用いる場合を例に説明する。

先ず、相関器26から、第1減算器40Aに極値A及び相関値Bを、又、第2減算器40Bに極値A及び相関値Cを入力し、第1減算器40AからはAとBの差 $B-A$ を、第2減算器40BからはAとCの差 $C-A$ を、それぞれ補正器28に出力する。補正器28は、入力した差分値 $B-A$ と差分値 $C-A$ を用いて補正値Dを求め、該補正値Dを加減算器30へ出力し、その後前記第1実施例と同様の処理を行い、極値の補正位置M'を出力する。

本実施例によれば、前記第1実施例と同様に、高速且つ高精度に極値の位置を補正し、分解能を向上できると同時に、第1及び第2減算器40A、40Bで上記減算を行うことにより、補正器28に対する入力情報を差分値 $B-A$ と差分値 $C-A$ の2つに減らし、しかもこれら各差分値自体の情報量も減少させることができる。このように、本

ここでは、第1図に示す二点鎖線で囲んだ部分32をマイクロプロセッサのソフトウェアにより実行した。

上記第4図は、物体を連続的に移動させた時の極値の位置の変移を示したもので、補正をしない場合の位置Oと、本実施例により補正をした場合の位置Pとを併記したものである。この第4図より、補正をしない場合の極値の位置Oは、1ピクセルの分解能でステップ状になるのに対し、本実施例の場合は極値の位置Pが連続的に求められることができる。従つて、本実施例によれば、極値の位置、即ち物体の変形を高精度で測定できることが判る。

第5図は、本発明による第2実施例の変形測定装置を示す概略構成図である。

本実施例の変形測定装置は、相関器26と、補正器28との間に第1及び第2の減算器(減算手段)40A、40Bを介在させ、補正器28に対する入力情報量を減少される構成とした以外は、前記第1実施例の変形測定装置と実質的に同一で

実施例では、補正器28に対する入力情報量を大幅に減少させることができる利点がある。

なお、減算器に入力する適値は前述のように極値Aに限られるものでなく、任意の適値を設定し、該適値と極値Aを含むB、C等の相関値との間で減算を行つてもよい。

又、第5図で二点鎖線で囲んだ部分32Aは、第1図の同部分32と同様の前述した取扱いが可能である。

以上、本発明を具体的に説明したが、本発明は前記実施例に示したものに限られるものでなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

例えば、前記第3図において、CPU34に対して入力する相関値A、B、Cは、前記第2実施例の場合と同様に適値との間で減算処理を行い、その差分値として入力してもよい。このようにすると、ROM36の入力アドレス、データを減少させることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明による第1実施例の変形測定装置を示す概略構成図、

第2図は、スベツクルパターンより得られた相互相関関数の相関値をヒストグラムで表わした線図、

第3図は、第1実施例の変形例を示す概略構成図、

第4図は、第1実施例の効果を示す線図、

第5図は、本発明による第2実施例の変形測定装置を示す概略構成図、

第6図は、スベツクル相関法の測定原理を説明するための斜視図、

第7図(A)、(B)、(C)は、それぞれ二次元イメージセンサの出力波形、自己相関波形及び相互相関波形を示す線図、

第8図は、従来のスベツクル相関法による測定装置の一例の構成を示す斜視図である。

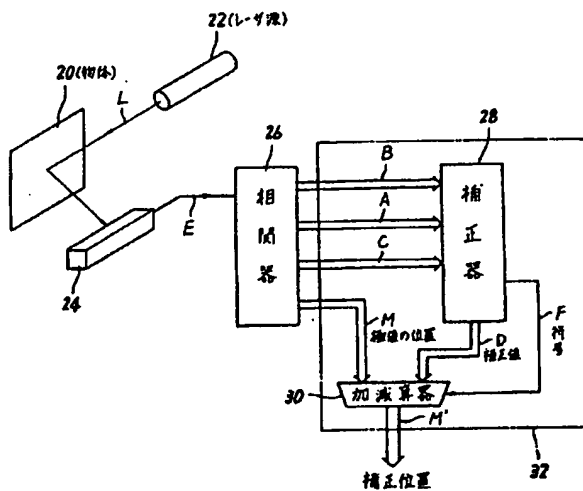
20…物体、

22…レーザ源、

24…二次元イメージセンサ、

26…相関器、

第1図



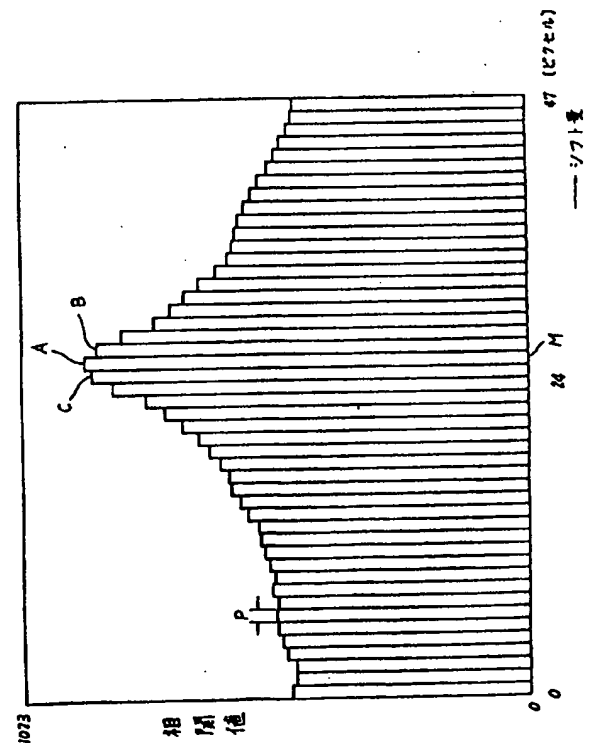
28…補正器、

30…加減算器、

40A、40B…減算器。

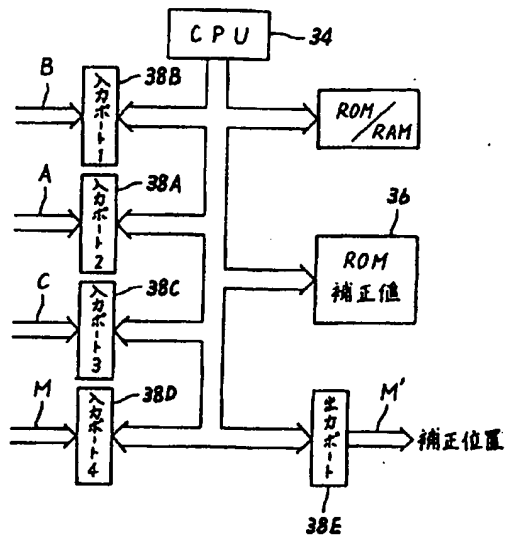
代理人 高 矢 諭  
松 山 圭 佑  
牧 野 剛 博

第2図

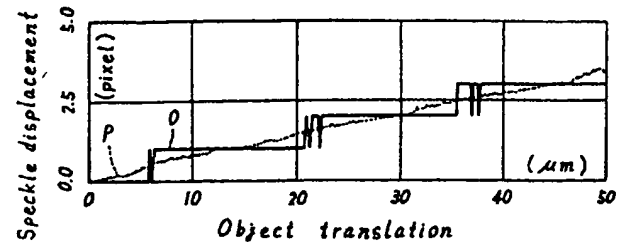




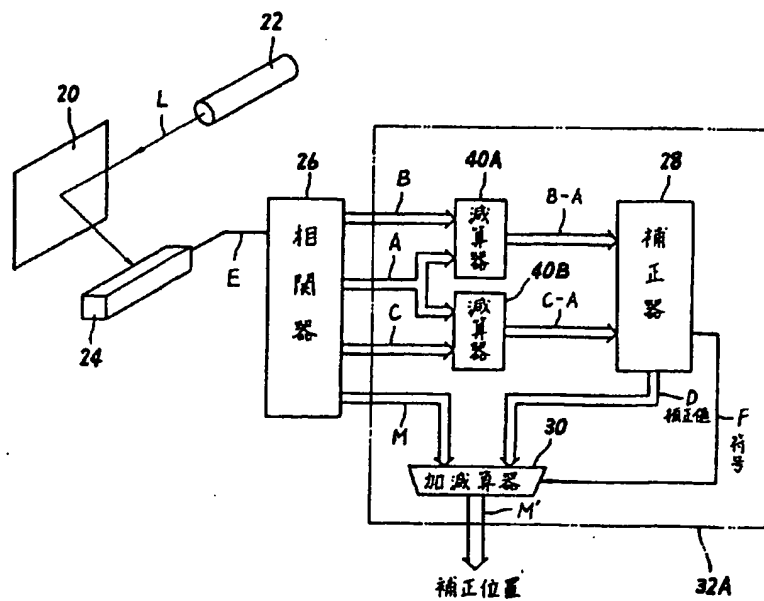
第 3 図



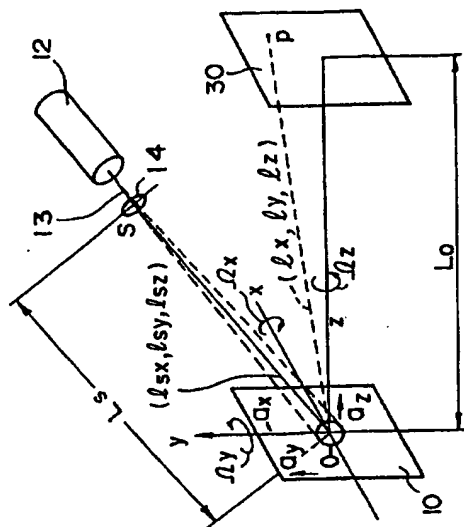
第 4 図



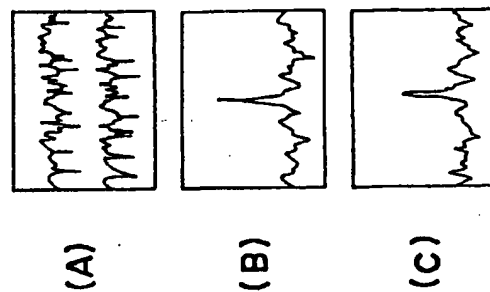
第 5 図



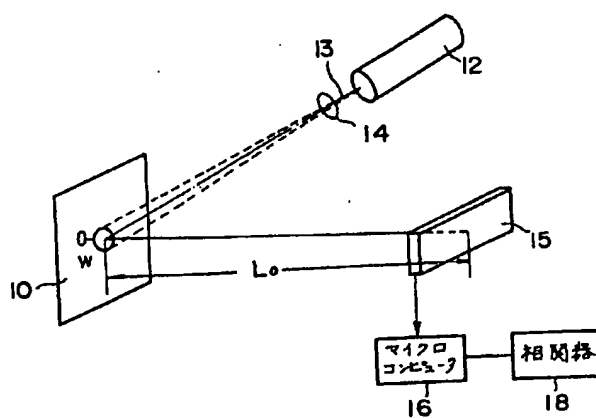
第 6 図



第 7 図



第 8 図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**